

数字经济提升制造业绿色全要素生产率了吗？

朱承亮 杨曼 李勃昕*

摘要:促进数字经济和实体经济深度融合是面向中国式现代化做出的重大战略抉择。本文以2012—2020年省级面板数据为样本,在运用熵值法测算数字经济发展水平,采用GML生产率指数测算制造业绿色全要素生产率的基础上,分析了数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响。研究发现:数字经济能够显著促进制造业绿色全要素生产率提升,数字经济发展水平越高,其对制造业绿色全要素生产率的促进作用越大,这一结论具有稳健性;数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响存在滞后效应,且随着滞后期数增加,数字经济的促进作用越大;数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响存在区域异质性,数字经济能够显著提升东部、中部、南方地区制造业绿色全要素生产率,但对西部地区存在抑制作用,对北方地区影响不显著;数字经济通过促进技术创新、提高市场化水平、促进产业结构升级、提高数字化人力资本水平等渠道提升制造业绿色全要素生产率。建议从加快数字技术赋能、重视数字技术鸿沟、培养数字转型人才等方面加快制造业数字化转型升级。

关键词:数字经济;制造业;绿色全要素生产率;人力资本

一、问题的提出

党的二十大强调坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国。制造业是我国实体经济的典型代表,改革开放以来我国制造业迅速发展,增加值从1978年的1031.5亿元增长到2021年31.4万亿元,占GDP比重为27.4%。但现阶段我国制造业仍面临产业结构失衡、能源消耗高、环境污染严重、自主创新能力弱等问题,建设制造强国亟需探寻新的发展路径推动制造业高质量发展。近年来,在数字技术革命推动下,中国数字经济发展迅猛,总体规模连续多年位居世界第二,逐渐成为经济发展的新引擎,对经济社会发展的引领支撑作用日益凸显。根据中国信通院发布的《中国数字经济发展白皮书(2022

*朱承亮(通讯作者),中国社会科学院数量经济与技术经济研究所,邮政编码:100732,电子邮箱:zcliang100@126.com;杨曼,中国社会科学院大学,邮政编码:100102;李勃昕,西安财经大学经济学院,邮政编码:710100。

本研究受到中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室(2024SYZH004)、中国社会科学院重大创新项目“完整、准确、全面贯彻新发展理念研究”(2023YZD017)、陕西省社会科学基金项目“‘双碳’战略驱动下陕西绿色创新的内生转化路径研究”(2022D019)资助。感谢匿名审稿专家的宝贵修改建议,文责自负。

年)》,2012年以来我国数字经济年均增速15.9%,显著高于同期GDP平均增速。当前,数字技术已成为推动制造业转型升级的关键动力,但是我国做强做优做大数字经济的任务依然很重,尤其是我国实体经济供给结构和效率不适应需求升级的问题依然突出,通过数字经济带动实体经济转型升级任重道远。

制造业高质量发展的内涵十分丰富,其中制造业绿色化是关键。党的二十大报告指出“推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节”。高质量发展是让绿色成为普遍形态,实现可持续性发展的发展(任保平,2018;刘志彪,2018)。习近平总书记深刻指出“要促进数字技术和实体经济深度融合,赋能传统产业转型升级,催生新产业新业态新模式,不断做强做优做大我国数字经济”。促进数字经济和实体经济深度融合是面向中国式现代化做出的重大战略抉择,是建设现代化产业体系的内在要求。那么,数字经济是否促进了制造业绿色发展,这是在建设中国式现代化强国新征程中值得关注和研究的重大理论和实践课题。本文基于制造业绿色全要素生产率视角,探究数字经济对制造业绿色发展的具体影响及其作用机制。

二、文献综述

随着数字经济的发展,准确测度数字经济的重要性日渐提高。现有文献主要从国民经济核算相关方法论、测算增加值、构建卫星账户以及编制相关指数等方面开展研究(许宪春、张美慧,2020)。在国民经济核算相关方法论方面,贺铿(1989)结合中国实际,提出划分信息产业的理论和编制信息产业投入产出表的方法。续继和唐琦(2019)从消费、投资、进出口三个方面分析了数字经济对名义产出水平核算的挑战以及数字经济对物价指数核算的挑战,对数字经济与国民经济核算相关研究的潜在方向进行了阐述。在增加值测算方面,许宪春和张美慧(2020)测算了中国2007—2017年数字经济增加值和总产出等指标,测算结果表明,2017年中国数字经济增加值53028.85亿元,占GDP比重为6.46%。蔡跃洲和牛新星(2021)基于数字技术/ICT渗透性、替代性、协同性特征,使用增长核算和计量分析等工具测算发现,1993—2018年中国数字经济增加值年均增长17.72%,2018年达157761.53亿元,占全国GDP的17.16%,认为数字经济是经济增长的重要支撑。中国信通院从数字产业化和产业数字化两个部分进行测算,结果表明2021年我国数字经济规模达到了45.5万亿元^①。鲜祖德和王天琪(2022)测算显示我国2020年数字经济核心产业规模为79637.9亿元,占GDP比重为7.84%。在构建卫星账户方面:杨仲山和张美慧(2019)结合中国数字经济发展现状,较为全面地构建了数字经济卫星账户,并进一步编制了数字经济相关的静态总量指标和直接贡献指标。在编制相关指数方面,刘军等(2020)从信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个维度分解数字经济指数,测算了2015—2018年我国各省份的数字经济发展水平。王军等(2021)从数字

^①数据来源于中国信通院《中国数字经济发展白皮书(2022年)》。

经济发展载体、数字产业化、产业数字化、数字经济发展环境四个方面构建指标体系,应用熵值法赋予权重,测算了中国数字经济发展水平,并剖析了数字经济的时空演变特征。

绿色全要素生产率不仅考虑到衡量经济发展的期望产出,还考虑到污染物排放等非期望产出,符合绿色发展的理念(陈超凡,2016;程文先、钱学锋,2021)。涂正革和肖耿(2009)通过构建环境生产前沿函数模型测算了中国工业环境全要素生产率,认为环境全要素生产率已经成为中国工业高速增长、污染减少的核心动力。随着生产率测算理论和方法的不断创新发展,关于工业或制造业绿色全要素生产率的测算文献越来越丰富。陈诗一(2010)基于方向性距离函数对改革开放以来我国工业全要素生产率进行了测算,发现正确考虑环境约束的全要素生产率比传统不考虑环境因素的估算值低了很多。陈超凡(2016)运用方向性距离函数及Malmquist-Luenberger(ML)指数测算了资源环境约束下的中国工业绿色全要素生产率,探究了中国工业绿色全要素生产率的影响因素。为解决方向性距离函数测算结果缺乏稳定性或与现实生产活动不相符的问题,Fukuyama和Weber(2009)等学者将Tone(2001)提出的基于松弛变量的测度方法(SBM)与方向性距离函数相结合,发展出了非径向、非导向的基于松弛变量的方向性距离函数(SBM-DDF)。我国学者运用此方法对工业绿色生产率开展了系列研究,李玲和陶锋(2012)采用SBM-Luenberger方法测算了制造业分行业绿色全要素生产率,考察了环境规制强度与绿色全要素生产率之间的关系。张江雪等(2015)运用SBM-DDF方法测算了2007—2011年中国各省份的工业绿色增长指数,并得出东部地区的工业绿色增长指数高于中西部地区,技术创新和工业结构能够显著影响工业绿色增长等结论。何凌云和祁晓凤(2022)采用Super-SBM模型测算了中国工业企业的绿色全要素生产率,并考察了环境规制政策与工业企业绿色全要素生产率之间的关系。

近年来,有关数字经济和绿色发展的研究日益丰富,魏丽莉和侯宇琦(2022)运用效率分析、熵值法测度2011—2018年全国285个地级及以上城市的数字经济和绿色发展水平,通过面板模型探究数字经济发展对地区绿色发展的影响,得到数字经济对城市绿色发展具有促进作用的结论。缪陆军等(2022)基于2011—2019年中国278个地级市面板数据,实证研究发现数字经济发展对碳排放的影响具有非线性特征,二者间呈现倒U型关系,且数字经济发展能够通过创新效率对碳排放产生间接影响。孙文远和周浩平(2022)基于2011—2018年中国260个地级市面板数据分析也发现,数字经济与碳排放之间存在非线性的倒U型关系,地方政府竞争是数字经济影响碳排放的重要机制。Zhang等(2022)认为数字经济提升了碳排放绩效,并且主要通过能源强度、能源消耗规模和城市造林等方式产生影响。还有研究表明数字化行业也要优化生产和应用,通过控制高能耗和含碳产品的消费,从而有效减少数字经济对碳排放的影响(Zhou et al.,2022)。

关于数字经济与制造业绿色全要素生产率关系的研究,一类文献认为数字经济对制造业

绿色全要素生产率有显著促进作用。数字经济一方面能够为企业绿色产品设计等提供有效解决方案,推动企业实现绿色制造(Lu, 2018),提高企业绿色全要素生产率,推动企业绿色发展(李晓华, 2019; 赵宸宇等, 2021),另一方面还能够推动传统产业转型升级,促进制造业向高端发展(Goldfarb & Tucker, 2019; 荆文君、孙宝文, 2019)。程文先和钱学锋(2021)通过实证研究发现数字经济能够显著提升中国工业绿色全要素生产率,且存在以制度环境和地区行业规模为门槛变量的单一门槛效应。另一类文献认为数字经济会抑制绿色全要素生产率增长。企业进行数字化转型能够提高企业的销售额,但却不能提升全要素生产率(Destefano et al., 2018)。数字经济发展会产生虹吸效应,虽然提升了中心城市的绿色全要素生产率,但却限制了外围城市绿色全要素生产率的提高(周晓辉等, 2021)。从数字技术与基础设施角度来看,如果数字技术与当地基础不匹配,会产生数字技术“空心化”问题,不仅制约技术进步,还会抑制数字技术发挥促进经济增长的作用(刘平峰、张旺, 2021)。Brynjolfsson等(2017)指出对智能技术的过度依赖会抑制全要素生产率增长。此外,信息化过度会导致资源浪费和劳动错配,从而抑制全要素生产率提升(Acemoglu & Restrepo, 2018)。还有一类文献认为数字经济与制造业绿色全要素生产率之间是非线性关系。张英浩等(2022)基于2011—2019年中国276个地级及以上城市的样本数据研究发现,数字经济发展水平与城市绿色全要素生产率之间呈现U型关系,数字经济对绿色全要素生产率的影响存在阶段性特征。

通过对现有相关文献梳理发现,学界关于数字经济及其影响的研究日益丰富,但对于数字经济发展水平的定量核算及其对制造业绿色全要素生产率的具体影响尚未得到一致结论。本文可能的边际贡献在于:一是从制造业绿色全要素生产率视角,考察党的十八大以来数字经济对制造业绿色发展的具体影响,从理论和实证上考察数字经济对制造业绿色全要素生产率的作用机制;二是现有研究在分析数字经济对制造业生产率的影响时,较少考察制造业发展带来的污染等负外部性,本研究构造了数字经济发展水平指数,在考察制造业绿色发展水平时,考虑到了制造业发展过程中产生的非期望产出,且采用GML(Global Malmquist-Luenberger)生产率指数测算制造业绿色全要素生产率水平。

三、机制分析与研究假说

制造业绿色全要素生产率的提升符合经济与环境可持续发展的要求。数字经济以数据为生产要素,具有快捷性、智能化、网络化和直接性等特点,既能够突破地域、时间的约束,加速信息传输,改善信息在传输过程中的失真问题(程文先、钱学锋, 2021),又能够高效处理大规模数据,快速匹配供需双方的需求,改善供需双方搜索匹配效率低的问题,还能够最大范围内消除信息不对称,显著降低交易成本,通过提高资源配置效率进而提升制造业生产效率。数字经济具有可持续性的特征,能够有效杜绝传统工业生产过程中对有形资源,尤其是能源的过度消耗,

促进既有生产要素重新配置,提高生产要素的使用效率,通过节能减排减少环境污染实现制造业绿色发展,符合可持续发展理念。数字经济能够通过“关联效应”提高供应链内部的生产协作能力,同时通过“竞争效应”加速企业内部绿色技术的创新(程文先、钱学锋,2021)。当前,企业创新效率低下、创新产出不足是制约中国工业企业效率提升的主要因素(韦庄禹,2022),而数字技术具有的兼容性、集约性、延展性等特征能够有效提升我国企业间、产业间的信息沟通效率,从而提升企业到产业、地区到区域的自主创新能力(赵涛等,2020)。此外,数字技术所具有的高度智能的优点还能为绿色技术创新提供有利的环境支撑和要素供给,数字经济具有的共享性特征能够通过技术溢出效应和示范效应鼓励制造业企业进行绿色技术创新(程文先、钱学锋,2021;周晓辉等,2021),进而实现制造业绿色发展。因此,本文提出以下假说1:

假说1:数字经济的发展能够促进制造业绿色全要素生产率的提升。

数字经济条件下,新的技术范式不断推动创新范式的变革和升级(张昕蔚,2019),数字经济能够颠覆传统制造业的研发模式,破解制造业创新链的瓶颈,推动研发力量的整合,促进技术创新、模式创新、业态创新和制度创新焕发制造业蓬勃生机(焦勇,2020),而技术创新能够显著促进工业绿色发展,提高绿色全要素生产率(万伦来、朱琴,2013)。数字经济的发展不仅能够加速要素市场化进程,减少劳动力错配,为技术流动提供数据要素等,还能促进产品和服务市场化发展,减少信息不对称问题,提升市场的竞争力和增强市场的公平性,提高了市场配置资源的效率。市场化水平的提高能够减缓工业集聚导致的环境污染程度、增强环境规制强度来改善绿色全要素生产率,还能通过促进产业结构升级、改变能源消费结构等渠道提升绿色全要素生产率(Wei et al., 2011)。数字经济以数据为生产要素,可以提高要素之间的协同性,拓展产业链分工边界,推动传统产业转型(杨慧梅、江璐,2021)。数字经济打破了工业经济时代边际收益递减的规律,能够持续提升工业价值创造能力以推动产业结构升级。产业结构转型升级能够优化要素配置,促进生产要素流向高成长性行业,同时促进技术升级,减少污染物排放,进而提升绿色全要素生产率。数字经济的发展对人力资本提出了更高要求,能够通过“技术互补”以及“规模扩张”效应优化人力资本结构,促进人力资本结构升级(叶永卫等,2022)。而创新型人力资本具有创新特质,能够进行自主创新、模仿创新等,并通过上述方式开展绿色技术创新、应用以及扩散,从而提高能源效率、减少污染排放,最终提升绿色全要素生产率水平(张桅、胡艳,2020)。根据上述分析,本文提出以下假说2:

假说2:数字经济能够通过促进技术创新、提高市场化水平、促进产业结构转型升级、提高数字化人力资本水平等渠道提升制造业绿色全要素生产率。

四、研究设计

(一)模型设定

为实证检验数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响,本文建立如下基准模型:

$$gftp_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 dig_{it} + \alpha_2 Z_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标 i 和 t 分别代表省份和年份, $gftp$ 表示制造业绿色全要素生产率, dig 表示数字经济发展水平, Z 表示控制变量, μ 表示省份固定效应, γ 表示年份固定效应, ε_{it} 表示潜在的随机误差项。

(二)变量选取

1. 数字经济发展水平

学界已经运用多种方法来测度数字经济发展水平,在编制相关指数方面,目前还没有形成一个公认的指标体系。为较为全面地衡量中国数字经济发展水平,本文参考王军等(2021)和潘为华等(2021)的研究,基于数字基础设施、数字产业化、产业数字化和数字化发展环境四个维度,选取24个二级指标,构建数字经济发展水平指数,对中国30个省市区(不包括西藏和港澳台地区)的数字经济发展水平进行测算,指标体系见表1。

表1 数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	单位	属性
数字基础设施	互联网宽带接入端口数	万个	正向
	长途光缆线路长度	公里	正向
	网站数	万个	正向
	移动电话基站个数	万个	正向
	互联网域名数	万个	正向
	网页数	万个	正向
	移动电话交换机容量	万户	正向
	移动电话用户	万户	正向
	互联网宽带接入用户	万户	正向
	电子信息产业固定资产投资	亿元	正向
数字产业化	数字产业主营业务收入	亿元	正向
	软件业务收入	亿元	正向
	电信业务总量	亿元	正向
	数字产业从业人数	人	正向
产业数字化	电子商务销售额	亿元	正向
	有电子商务企业数	个	正向
	企业拥有网站数	个	正向
	快递业务量	万件	正向
	北京大学数字普惠金融指数	/	正向
数字化发展环境	每百人使用计算机数	台	正向
	R&D经费	万元	正向
	专利授权数量	件	正向
	数字经济企业数量	个	正向
	每十万人高等学校平均在校生数	人	正向

本文采用熵值法测算数字经济发展水平。由于选取的指标具有不同的计量单位,需要对其进行无量纲化处理使其能够横向可比,具体处理方法如下:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_j\}}{\max\{x_j\} - \min\{x_j\}} \quad (2)$$

其中, x_{ij} 是无量纲化后的结果, $\max\{x_j\}$ 为指标在所有年份中的最大值, $\min\{x_j\}$ 为指标在所有年份中的最小值。在各指标进行无量纲化处理后,运用熵值法计算每个指标的权重。

首先计算各指标的信息熵:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \ln \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \right) \quad (3)$$

然后计算信息熵冗余度:

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

接着根据信息熵冗余度计算指标权重:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (5)$$

最后计算数字经济发展水平指数:

$$dig_j = \sum_{j=1}^m W_j x_{ij} \quad (6)$$

2. 制造业绿色全要素生产率

本文参考 Tone(2001) 和杨翔等(2015)的方法,以SBM方向性距离函数模型为基础,构建GML生产率指数来测度中国制造业绿色全要素生产率。

首先将第 K 个省份视为决策单元 DMU_k , 需要 N 种投入要素 $x=(x_1, \dots, x_N) \in R_N^+$, 产生 M 种期望产出 $y=(y_1, \dots, y_M) \in R_M^+$, I 种非期望产出 $b=(b_1, \dots, b_I) \in R_I^+$, 则 DMU_k 第 t 期的投入和产出为 (x^{kt}, y^{kt}, b^{kt}) , 当期的生产可能性集表示为:

$$P^t(x^t) = \left\{ (y^t, b^t): \sum_{k=1}^K z_k^t y_{km}^t \geq y_{km}^t, \forall m; \sum_{k=1}^K z_k^t b_{ki}^t = b_{ki}^t, \forall i; \sum_{k=1}^K z_k^t x_{kn}^t \leq x_{kn}^t, \forall n; \sum_{k=1}^K z_k^t = 1, z_k^t > 0, \forall k \right\} \quad (7)$$

上式中 z_k^t 表示每个横截面观察值的权重。为测算GML指数,需将生产可能性集替换为全域生产可能性集,即 $P^G(x) = P^1(x^1) \cup P^2(x^2) \cup \dots \cup P^T(x^T)$, 根据数据包络分析法(DEA)表示为:

$$P^G(x) = \left\{ (y^t, b^t): \sum_{k=1}^K z_k^t y_{km}^t \geq y_{km}^t, \forall m; \sum_{k=1}^K z_k^t b_{ki}^t = b_{ki}^t, \forall i; \sum_{k=1}^K z_k^t x_{kn}^t \leq x_{kn}^t, \forall n; \sum_{k=1}^K z_k^t = 1, z_k^t > 0, \forall k \right\} \quad (8)$$

参考 Fukuyama 和 Weber(2009)的做法,本文全局SBM方向性距离函数的表示方法如下:

$$S_V^G(x^t, y^t, b^t, g^x, g^y, g^b) = \max_{s^x, s^y, s^b} \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_n^x}{g_n^x} + \frac{1}{M+I} \left(\sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{g_m^y} + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^b}{g_i^b} \right)}{2} \quad (9)$$

$$\text{s.t.} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t x_{km}^t + s_m^x = x_m^t, \forall m; \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t y_k^n - s_n^y = y_n^t, \forall n; \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t b_{ki}^t + s_i^b = b_i^t;$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^t = 1, z_k^t \geq 0, \forall k; s_m^x \geq 0, \forall m; s_n^y \geq 0, \forall n; s_i^b \geq 0, \forall i$$

上式中, (x^t, y^t, b^t) 分别表示第 t 期 DMU 的投入要素、期望产出和非期望产出的向量, g^x 、 g^y 、 g^b 分别表示投入要素减少、期望产出增加、非期望产出减少的方向向量, s_m^x 、 s_n^y 、 s_i^b 分别表示投入、期望产出和非期望产出的松弛向量。

参考 Oh(2010) 的思路, 可以依据 SBM-DDF 模型得出 t 到 $t+1$ 时期的制造业 GML 生产率指数:

$$GML_t^{t+1} = \frac{1 + S_V^G(x^t, y^t, b^t; g)}{1 + S_V^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g)} \quad (10)$$

制造业 GML 生产率指数代表的是制造业绿色全要素生产率的增长率, 为得到 2012—2020 年我国制造业绿色全要素生产率的数据, 本文参考陈超凡(2016)的计算方法: 以 2012 年为基期, 设其制造业绿色全要素生产率为 1, 则 2013 年制造业绿色全要素生产率为 2012 年的基期值 1 乘以 2013 年的 GML 指数, 2014 年的制造业绿色全要素生产率为 2013 年的制造业绿色全要素生产率乘以 2014 年的 GML 指数, 以此类推, 可得 2012 到 2020 年制造业绿色全要素生产率。

在测算制造业绿色全要素生产率时, 本文选择的投入产出指标如下: 投入指标包括资本、劳动和能源投入, 其中资本投入参考陈诗一(2011)的做法, 运用永续盘存法计算制造业企业资本存量, 劳动投入选择制造业平均用工人数量来衡量, 能源投入采用制造业企业能源消费总量来衡量, 并按标准煤折合系数转换为万吨标准煤。产出指标包括正向的期望产出和负向的非期望产出, 其中期望产出使用各省份制造业工业销售产值来衡量, 并换算成以 2012 年为基期的实际值, 非期望产出采用制造业碳排放量来衡量。

3. 控制变量

借鉴现有研究, 本文控制变量包括政府支出(gov)、经济发展水平(eco)、人口密度(pop)、外商直接投资(fdi)、城镇化水平(urb)、金融发展水平(fin)。其中, 政府支出(gov)以各省份的政府财政支出占地区生产总值的比值表示; 将各省份人均地区生产总值换算成以 2012 年为基期的实际值, 再以其对数表示经济发展水平(eco); 人口密度(pop)用每平方千米拥有人口数的对数表示; 将各省份使用外资数量换算为以人民币计价(亿元), 再用换算后的使用外资金额占地区生产总值的比值表示外商直接投资(fdi); 城镇化水平(urb)用城镇人口数占总人口数

的比重来表示;金融发展水平(fin)用金融机构贷款余额占地区生产总值的比重来表示。

(三)数据说明

本文使用的数据为2012—2020年中国30个省市(不包括西藏和港澳台地区)数字经济和制造业的相关数据。数据来源为国家统计局以及《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》等年鉴以及中国碳排放数据库,相关价值变量均以2012年为基期。在计算数字经济发展水平时,部分指标2012年的缺失数据用2013年的数据进行补充,其他缺失数据采用线性插值法进行补充。主要变量的描述性统计如表2所示。

表2 描述性统计表

变量	观测值	平均值	方差	最小值	最大值
制造业绿色全要素生产率($gtfp$)	270	1.088	0.105	0.887	1.481
数字经济发展水平(dig)	270	0.137	0.134	0.008	0.861
政府支出(gov)	270	0.253	0.104	0.118	0.643
经济发展水平(eco)	270	10.888	0.418	9.889	11.842
人口密度(pop)	270	5.471	1.296	2.068	8.281
外商直接投资(fdi)	270	0.53	2.095	0.048	34.236
城镇化水平(urb)	270	0.597	0.119	0.363	0.896
金融发展水平(fin)	270	1.478	0.979	0.171	15.825

五、实证结果分析

(一)典型事实分析

图1和图2分别展示了2012—2020年我国数字经济发展水平和制造业绿色全要素生产率增长情况。党的十八大以来,我国数字经济发展水平逐年提升,数字经济发展水平指数从0.08提升至0.21;制造业绿色发展成效显著,制造业绿色全要素生产率从1.00增长至1.19。但也看到,截至2020年我国数字经济发展水平指数仅为0.21,说明当前我国数字经济发展水平有待进一步提升。此外,测算结果还表明,我国数字经济发展水平、制造业绿色全要素生产率均存在明显的区域异质性,总体来看,东部地区明显优于中西部地区。图3展示了数字经济发展水平与制造业绿色全要素生产率的散点图。可见,数字经济发展水平与制造业绿色全要素生产率之间呈现较为明显的正向相关关系,初步表明数字经济的发展有利于提升制造业绿色全要素生产率。数字经济发展水平与制造业绿色全要素生产率之间的具体关系尚需采用严格精细的计量方法进行检验。

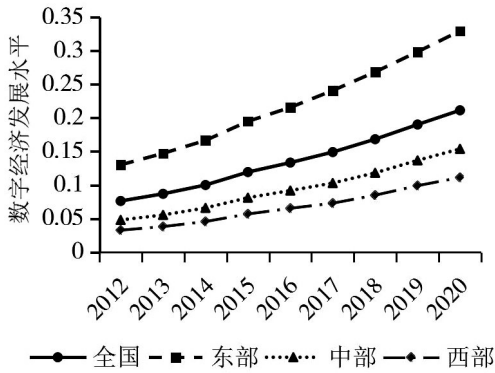


图1 全国及东中西部数字经济
发展水平趋势

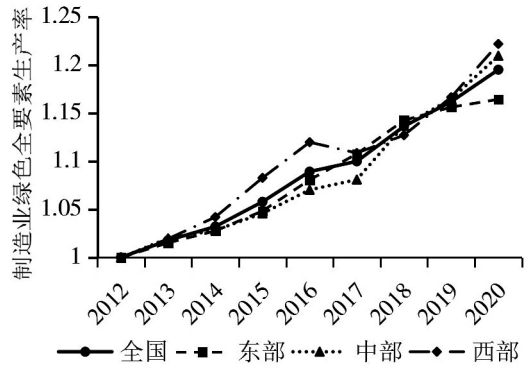


图2 全国及东中西部制造业绿色
全要素生产率趋势

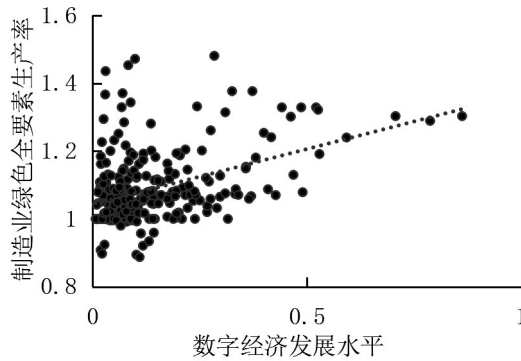


图3 数字经济与制造业绿色全要素生产率散点图

(二)基准回归结果分析

基于豪斯曼检验结果,本文选择固定效应模型(FE)进行回归分析,表3展示了数字经济对制造业绿色全要素生产率的基准回归结果。模型(1)是在控制省份和时间固定效应的基础上,仅对核心解释变量数字经济进行回归的结果,回归结果表明数字经济的回归系数在10%的水平下显著为正。模型(2)是在模型(1)的基础上加入控制变量后进行回归的结果,回归结果显示数字经济的回归系数为正且在5%的水平下显著,表明数字经济发展水平的提高能够显著促进制造业绿色全要素生产率提升,数字经济发展水平每提升1个百分点,制造业绿色全要素生产率约提高0.44个百分点,数字经济能够促进制造业绿色全要素生产率提升,假说1得到验证。

从一系列控制变量回归结果来看,地区经济发展水平(*eco*)能显著促进制造业绿色全要素生产率提升,政府支出(*gov*)、人口密度(*pop*)、外商直接投资(*fdi*)、金融发展水平(*fin*)等对制造业绿色全要素生产率影响不显著。

表3 数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的基准回归结果

变量	<i>gtfp</i>	
	(1)	(2)
<i>dig</i>	0.3534* (0.1959)	0.4435** (0.1968)
<i>gov</i>		0.2062 (0.3789)
<i>eco</i>		0.6783** (0.2948)
<i>pop</i>		-0.3963 (0.3724)
<i>fdi</i>		-0.0006 (0.0010)
<i>fin</i>		-0.0015 (0.0012)
<i>urb</i>		0.0980 (0.6951)
常数项	0.9730*** (0.0161)	-4.1696 (3.4219)
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	270	270
R ²	0.5882	0.6355

注:括号内数字为稳健标准误,*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平下显著。下表同。

(三)稳健性检验

为保证核心结论的准确性,本文从三个方面进行稳健性检验:一是更换数字经济的计算方法,运用主成分分析法计算数字经济发展水平;二是运用Tobit模型进行回归;三是缩短时间长度。由于本文部分数据存在缺失并运用线性插值法进行了补充,因此为避免处理后的数据对实证结果产生干扰,本文采用去掉初始年份2012年和最后一年2020年的数据后进行回归。

表4展示的是数字经济对制造业绿色全要素生产率的稳健性检验结果。其中,模型(1)(2)(3)分别显示了运用主成分分析法计算数字经济发展水平、采用Tobit模型回归、去掉2012年和2020年数据后,数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的稳健性检验结果,结果显示数字经济的回归系数显著为正,表明数字经济能够显著提升制造业绿色全要素生产率的结论是稳健的。

表4 数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)
	主成分分析法计算数字经济	Tobit 模型	去掉2012年和2020年数据
<i>dig</i>	0.0859** (0.0371)	0.4435*** (0.1024)	0.4636** (0.2046)
常数项	-4.0426 (3.5121)	-4.0040* (2.2136)	-4.1798 (3.5754)
控制变量	是	是	是
省份固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
样本量	270	270	210
R ²	0.6400		0.6119

(四)内生性检验

基准回归结果表明数字经济发展有利于提升制造业绿色全要素生产率,但实证检验可能存在遗漏变量、反向因果关系等因素导致的内生性问题。为克服内生性问题,保证研究结论的稳健性,本文通过构造滞后一期的解释变量、使用历史数据两种方法来识别此类问题,结果见表5所示。表5中模型(1)展示了以数字经济发展水平滞后一期为工具变量时,使用两阶段最小二乘估计(2SLS)对制造业绿色全要素生产率进行内生性检验的结果。参考赵涛等(2020)的做法,使用1998年各省份拥有电话机数量与上一年全国互联网用户数量的乘积这一历史数据作为数字经济的工具变量,回归结果见表5中的模型(2)。回归结果均显示,不存在工具变量识别不足和弱工具变量识别问题,在考虑内生性问题后,数字经济对制造业绿色全要素生产率存在显著正向影响,进一步验证了基准回归结果的结论,表明数字经济发展有助于提升制造业绿色全要素生产率。

表5 内生性检验

变量	(1)	(2)
	数字经济滞后一期为工具变量	使用历史数据构造工具变量
<i>dig</i>	0.4234*** (0.1147)	0.3794*** (0.1317)
常数项	-4.1380 (2.5255)	-4.4770** (2.2648)
控制变量	是	是
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
Kleibergen-Paap rk LM	23.959 [0.0000]	28.211 [0.0000]
Kleibergen-Paap rk Wald F	2341.859 {16.38}	138.513 {16.38}
样本量	240	270
R ²	0.7812	0.7650

注:中括号内数值是统计检验的p值;大括号内数值是Stock-Yogo弱工具变量检验10%水平的临界值。

(五)分位数回归

上述基准回归模型主要测度了数字经济在均值期间对制造业绿色全要素生产率的影响,为全面分析数字经济对其条件分布的影响,准确评价数字经济对制造业绿色全要素生产率分布的尾部特征,本文进一步采用分位数回归模型进行回归,分别估计在0.10、0.25、0.50、0.75和0.90这5个分位点上数字经济对制造业绿色全要素生产率的非线性影响,在不同的分位点上回归系数不同则表明解释变量数字经济对不同水平的被解释变量制造业绿色全要素生产率影响不同,回归系数越大,影响越大。

表6的(1)到(5)列展示了数字经济对制造业绿色全要素生产率的分位数回归结果。结果显示,在0.10、0.25、0.50、0.75、0.90分位点上,数字经济回归系数分别为0.1500、0.3866、0.2584、0.4759、0.2714,且均通过了1%的显著性检验,表明数字经济对制造业绿色全要素生产率具有不同分位的正向影响。在分位点0.10到0.75的过程中,数字经济回归系数呈增大趋势,表明数字经济对制造业绿色全要素生产率的促进作用不断增强,在0.75分位点时,数字经济对制造业绿色全要素生产率促进作用达到最强,而在0.90分位点时,数字经济回归系数略有下降。上述统计分析结果表明在不同的制造业绿色全要素生产率水平下,数字经济发展水平对制造业绿色全要素生产率的影响存在差异性,即当制造业绿色全要素生产率水平较低和较高时,数字经济发展水平对其的促进作用低于制造业绿色全要素生产率水平处于较为居中的状态。因此,想要充分发挥数字经济对制造业绿色全要素生产率的提升作用,应保持制造业绿色全要素生产率处于一个合理的水平。

表6 数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的分位数回归结果

	<i>gftp</i>				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	0.10分位点	0.25分位点	0.50分位点	0.75分位点	0.90分位点
<i>dig</i>	0.1500*** (0.0107)	0.3866*** (0.0204)	0.2584*** (0.0120)	0.4759*** (0.0249)	0.2714*** (0.0126)
控制变量	是	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是
样本量	270	270	270	270	270

(六)区域异质性检验

当前,数字鸿沟现象普遍存在,我国幅员辽阔,不同区域的数字化基础不同,发展差异明显,为此本部分从东中西部和南北地区分别考察数字经济对制造业高质量发展的区域异质性。

我国东中西部地区的综合经济发展水平、资源禀赋和工业基础设施等存在较大差异,工业发展也不平衡,东部地区部分省份已经处于工业化后期阶段,而大部分中西部地区的省份仍处于工业化中期阶段(黄群慧,2018),这些可能导致数字经济对东部、中部、西部地区制造

业绿色全要素生产率产生不同程度的影响。表7中(1)—(3)列展示了数字经济对制造业绿色全要素生产率的东中西部区域差异。可见,数字经济对制造业绿色全要素生产率影响存在显著的区域异质性,数字经济能够显著提升东部和中部地区制造业绿色全要素生产率,但对西部地区制造业绿色全要素生产率提升存在抑制作用。可能的原因是西部地区数字基础设施不完善、数字技术发展相对落后,且制造业发展处于工业化中期阶段,制造业绿色发展水平有限,一定程度上制约了数字经济对西部地区制造业绿色全要素生产率的作用。

近年来,随着京津冀协同发展、长三角一体化发展、粤港澳大湾区建设等重大战略的实施,全国经济中心进一步南移,南北方地区差距进一步扩大(许宪春等,2021)。本文参考许宪春等(2021)对经济地理的划分标准,将全国30个省市区划分为南北方地区,探究数字经济发展对南北方地区制造业绿色全要素生产率的影响,结果见表7。可见,从数字经济对制造业绿色全要素生产率影响来看,数字经济能够显著提升南方地区制造业绿色全要素生产率,但对北方地区的影响不显著。可能的原因是,相比北方地区而言,南方地区数字基础设施完善,长三角、珠三角等发达地区数字经济发展催生了新产业新业态,吸引了大量高技能人才和资本,显著支撑了制造业绿色转型发展。

表7 数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的区域差异

变量	<i>gtfp</i>			<i>gtfp</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	东部	中部	西部	北方	南方
<i>dig</i>	0.7460*** (0.1251)	3.9922*** (0.5530)	-0.7170** (0.3410)	0.7531 (0.5267)	0.3632* (0.1725)
常数项	-1.0997 (3.2599)	11.5082*** (3.8132)	-5.5307 (5.2279)	-12.6403*** (3.6596)	-3.0149 (7.6730)
控制变量	是	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
样本量	108	81	81	135	135
R ²	0.7636	0.8143	0.7607	0.6360	0.8077

注:东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西、海南12个省市区;中部地区包括山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南9个省市区;西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆9个省市区。南方地区包括上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南15个省市区;北方地区包括北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆15个省市区。

(七)滞后性分析

为探究数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的滞后效应,同时考虑到本文所使用的数据时间序列长度,对数字经济发展水平做了滞后一年、滞后两年、滞后三年和滞后四年的处理,回归结果见表8所示。可见,数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响存在显著滞后效应,且随着滞后期数的不断增加,数字经济回归系数也越来越大,意味着数字经济能够在一

段时间内持续显著促进制造业绿色全要素生产率提升。可能的原因在于数字经济的发展能够提升信息的传播速度、扩展信息的传播范围,从而推动技术创新,提升技术的溢出效应,因此,数字经济是推动制造业绿色发展的重要动力。

表8 数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的滞后效应

变量	gtfp			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>L.dig</i>	0.4500* (0.2226)			
<i>L2.dig</i>		0.5660** (0.2706)		
<i>L3.dig</i>			0.7163** (0.3351)	
<i>L4.dig</i>				0.7199* (0.3753)
常数项	-4.7271 (3.5313)	-3.1781 (4.4358)	0.6544 (5.4962)	4.3639 (6.5214)
控制变量	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	240	210	180	150
R ²	0.6105	0.5765	0.5216	0.4761

(八)分指标回归

为进一步探究数字经济发展水平各一级指标对制造业绿色全要素生产率的影响,本文分别做了数字基础设施(*digA*)、数字产业化(*digB*)、产业数字化(*digC*)以及数字化发展环境(*digD*)对制造业绿色全要素生产率的回归,结果见表9所示。回归结果表明,一级指标数字基础设施、数字产业化、产业数字化和数字化发展环境均能显著促进制造业绿色全要素生产率提升,其中数字基础设施和数字产业化的回归系数更大,分别为0.4163和0.4250,表明当前阶段完善数字基础设施、提升数字产业化水平更有利于制造业绿色全要素生产率提升。

表9 数字经济发展水平一级指标对制造业绿色全要素生产率的影响

变量	gtfp			
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>digA</i>	0.4163* (0.2130)			
<i>digB</i>		0.4250*** (0.1477)		
<i>digC</i>			0.2442* (0.1392)	
<i>digD</i>				0.2704** (0.1097)
常数项	-4.3880 (3.5310)	-4.2727 (3.2166)	-5.4208 (3.4007)	-5.1411 (3.5129)
控制变量	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	270	270	270	270
R ²	0.6351	0.6362	0.6203	0.6303

六、关于作用机制的进一步探讨

上述系列检验表明,数字经济能够显著促进制造业绿色全要素生产率提升,那么数字经济对制造业绿色全要素生产率的促进作用是否通过技术创新、市场化水平、产业结构转型升级、数字化人力资本水平等渠道进行传导的,需要进一步进行回归验证。根据理论分析和研究假说,本文以研发支出占GDP比重作为技术创新的代理变量,以樊纲等(2010)构建的市场化指数作为市场化水平的代理变量,以泰尔指数作为产业结构转型升级的代理变量,以城镇单位信息传输、软件和信息技术服务业从业人员数量作为数字化人力资本水平代理变量检验数字经济对制造业绿色全要素生产率的作用机制,结果见表10所示。

回归结果显示数字经济能够通过促进技术创新、提高市场化水平、促进产业结构升级、提升数字化人力资本水平等渠道提升制造业绿色全要素生产率,假说2得到验证。从回归系数来看,数字化人力资本水平的回归系数最大,为7.6177,且在1%的水平下显著,其次为市场化水平的回归系数,为4.3353,且在1%的水平下显著,二者明显高于技术创新和产业结构升级的回归系数,意味着数字经济发展对数字化相关人员的需求更大,人力资本水平的提升能够带来创新以提升制造业绿色全要素生产率,同时数字经济发展显著促进了数据等要素资源流动,加速了要素市场化进程,提高了市场配置资源的效率,从而显著提升了制造业绿色全要素生产率水平。

表 10 数字经济对制造业绿色全要素生产率影响的机制检验

变量	<i>gftp</i>			
	技术创新	市场化水平	产业结构升级	数字化人力资本水平
<i>dig</i>	0.0101** (0.0043)	4.3353*** (1.4493)	0.3731** (0.1672)	7.6177*** (1.0440)
常数项	-0.1610 (0.1176)	15.1369 (19.6429)	15.8780*** (2.3098)	-3.5324 (10.5540)
控制变量	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	270	270	270	270
R ²	0.6522	0.5391	0.8854	0.8461

七、结论和建议

促进数字经济和实体经济深度融合是面向中国式现代化做出的重大战略抉择,是建设现代化产业体系的内在要求。制造业是我国实体经济的典型代表,为探究党的十八大以来数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响,本文以2012—2020年省级面板数据为样本,在运用

熵值法测算数字经济发展水平,采用GML生产率指数测算制造业绿色全要素生产率的基础上,实证检验了数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响。研究发现:数字经济能够显著提升制造业绿色全要素生产率,数字经济发展水平越高,其对制造业绿色全要素生产率的促进作用越大,越能推动制造业绿色全要素生产率提升,这一结论具有稳健性;数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响存在滞后效应,且随着滞后期数增加,数字经济的促进作用越大;从区域异质性来看,数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响存在区域异质性,数字经济能够显著提升东部、中部、南方地区制造业绿色全要素生产率,但对西部地区存在抑制作用,对北方地区影响不显著;从作用机制来看,数字经济通过提高市场化水平、促进技术创新、促进产业结构升级、提高数字化人力资本水平等渠道提升制造业绿色全要素生产率。

基于以上研究结论,本文对进一步加快制造业数字化转型升级提出如下的政策建议:

一是加快数字技术赋能,全面推动智能制造。当前,我国传统制造业面临资源约束趋紧、竞争优势不足等较大挑战,实证研究表明数字经济能够显著提升制造业绿色全要素生产率,因此加快制造业数字化转型是顺应新工业革命趋势、提升工业现代化水平、建设现代化产业体系的必然要求。立足不同产业特点和差异化需求,加快人工智能、大数据、云计算、物联网等数字技术与制造全过程、全要素深度融合,大力推进制造业企业智改数转网联。精准摸清制造业企业数字化转型的需求以及痛点难点,综合采用需求侧开放场景、供需“揭榜挂帅”联合攻关、培育优质解决方案和服务商等方式,强化供需对接,不断提升制造业企业数字化转型的效率。

二是重视数字技术鸿沟,分类推进数字转型。当前,我国数字经济发展水平存在明显区域差异,东部明显优于中西部,实证结果也表明数字经济对制造业绿色全要素生产率的影响也存在明显区域差异,数字经济能够显著提升东部、南方地区制造业绿色全要素生产率,但对西部地区存在抑制作用,对北方地区影响不显著。这意味着,一方面需要高度重视西部和北方地区数字化发展,加强数字基础设施建设和数字化人才工作,不断夯实数字经济发展根基;另一方面不同地区的制造业数字化转型需要分类施策,对于西部和北方地区制造业企业数字化转型,需要充分发挥深耕细分领域专业服务商团队的作用,加快制造业企业关键业务数字化普及,对于东部和南方地区制造业企业数字化转型,需要鼓励数字化基础较好的企业加快向智能化方向升级,为全国制造业数字化转型树立典型标杆。

三是坚持创新驱动发展,培养数字转型人才。研究表明,数字经济通过促进技术创新、提高市场化水平、提高数字化人力资本水平等渠道提升制造业绿色全要素生产率。基于当前制造业发展现状,亟待全面清理妨碍统一市场和公平竞争的政策规定,大力破除各种市场准入的显性和隐性壁垒,进一步完善产权保护、公平竞争、社会信用等基础制度规则,为建设全国统一大市场提供制度保障,促进数据等要素资源合理流动和高效配置。加大对制造业技术改

造资金支持力度,落实制造企业关于研发费用加计扣除等财税政策,鼓励制造企业加大研发经费投入力度,打造产学研深度融合的创新体系,强化制造企业科技创新主体地位。面向制造业领域培养一批数字化转型人才,加强制造业企业员工数字业务培训,不断提高企业员工数字化素养。

参考文献:

- [1] 蔡跃洲,牛新星. 中国数字经济增加值规模测算及结构分析[J]. 中国社会科学,2021(11):4-30.
- [2] 陈超凡. 中国工业绿色全要素生产率及其影响因素[J]. 统计研究,2016,33(03):53-62.
- [3] 陈诗一. 中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究,2010,45(11):21-34.
- [4] 陈诗一. 中国工业分行业统计数据估算:1980—2008[J]. 经济学(季刊),2011,10(03):735-776.
- [5] 程文先,钱学锋. 数字经济与中国工业绿色全要素生产率增长[J]. 经济问题探索,2021(08):124-140.
- [6] 樊纲,王小鲁,朱恒鹏. 中国市场化指数——各地区市场化相对进程2009年报告[M]. 北京:经济科学出版社,2010.
- [7] 何凌云,祁晓凤. 环境规制与绿色全要素生产率——来自中国工业企业的证据[J]. 经济学动态,2022(6):97-114.
- [8] 贺铿. 关于信息产业和信息产业投入产出表的编制方法[J]. 数量经济技术经济研究,1989(02):34-40.
- [9] 黄群慧. 改革开放40年中国的产业发展与工业化进程[J]. 中国工业经济,2018(09):5-23.
- [10] 焦勇. 数字经济赋能制造业转型:从价值重塑到价值创造[J]. 经济学家,2020(06):87-94.
- [11] 荆文君,孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展:一个理论分析框架[J]. 经济学家,2019(02):66-73.
- [12] 李玲,陶锋. 中国制造业最优环境规制强度的选择——基于绿色全要素生产率的视角[J]. 中国工业经济,2012(5):70-82.
- [13] 李晓华. 数字经济新特征与数字经济新动能的形成机制[J]. 改革,2019(11):40-51.
- [14] 刘军,杨渊璧,张三峰. 中国数字经济测度与驱动因素研究[J]. 上海经济研究,2020(06):81-96.
- [15] 刘平峰,张旺. 数字技术如何赋能制造业全要素生产率?[J]. 科学学研究,2021,39(08):1396-1406.
- [16] 刘志彪. 高质量建设现代化经济体系的着力点与关键环节[J]. 区域经济评论,2018(04):11-14.
- [17] 缪陆军,陈静,范天正,等. 数字经济发展对碳排放的影响——基于278个地级市的面板数据分析[J]. 南方金融,2022(02):45-57.
- [18] 潘为华,贺正楚,潘红玉. 中国数字经济发展的时空演化和分布动态[J]. 中国软科学,2021(10):137-147.
- [19] 任保平. 新时代高质量发展的政治经济学理论逻辑及其现实性[J]. 人文杂志,2018(02):26-34.
- [20] 孙文远,周浩平. 数字经济对中国城市碳排放的影响效应及其作用机制[J]. 环境经济研究,2022,7(03):25-42.
- [21] 涂正革,肖耿. 环境约束下的中国工业增长模式研究[J]. 世界经济,2009,32(11):41-54.
- [22] 万伦来,朱琴. R&D投入对工业绿色全要素生产率增长的影响[J]. 经济学动态,2013(09):20-26.
- [23] 王军,朱杰,罗茜. 中国数字经济发展水平及演变测度[J]. 数量经济技术经济研究,2021,38(07):26-42.
- [24] 韦庄禹. 数字经济发展对制造业企业资源配置效率的影响研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39(03):66-85.
- [25] 魏丽莉,侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39

(08):60-79.

- [26] 鲜祖德,王天琪. 中国数字经济核心产业规模测算与预测[J]. 统计研究, 2022, 39(01):4-14.
- [27] 许宪春,雷泽坤,窦园园,柳士昌. 中国南北平衡发展差距研究——基于“中国平衡发展指数”的综合分析[J]. 中国工业经济, 2021(02):5-22.
- [28] 许宪春,张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020(05):23-41.
- [29] 续继,唐琦. 数字经济与国民经济核算文献评述[J]. 经济学动态, 2019(10):117-131.
- [30] 杨慧梅,江璐. 数字经济、空间效应与全要素生产率[J]. 统计研究, 2021, 38(04):3-15.
- [31] 杨翔,李小平,周大川. 中国制造业碳生产率的差异与收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2015, 32(12):3-20.
- [32] 杨仲山,张美慧. 数字经济卫星账户:国际经验及中国编制方案的设计[J]. 统计研究, 2019, 36(05):16-30.
- [33] 叶永卫,李鑫,刘贵春. 数字化转型与企业人力资本升级[J]. 金融研究, 2022(12):74-92.
- [34] 张江雪,蔡宁,杨陈. 环境规制对中国工业绿色增长指数的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(01):24-31.
- [35] 张桅,胡艳. 长三角地区创新型人力资本对绿色全要素生产率的影响——基于空间杜宾模型的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(09):106-120.
- [36] 张昕蔚. 数字经济条件下的创新模式演化研究[J]. 经济学家, 2019(07):32-39.
- [37] 张英浩,汪明峰,崔璐明,等. 数字经济水平对中国市域绿色全要素生产率的影响[J]. 经济地理, 2022, 42(09):33-42.
- [38] 赵宸宇,王文春,李雪松. 数字化转型如何影响企业全要素生产率[J]. 财贸经济, 2021, 42(07):114-129.
- [39] 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10):65-76.
- [40] 周晓辉,刘莹莹,彭留英. 数字经济发展与绿色全要素生产率提高[J]. 上海经济研究, 2021(12):51-63.
- [41] Acemoglu, D., P. Restrepo. The Race Between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment[J]. American Economic Review, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [42] Brynjolfsson, E., D. Rock, C. Syverson. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics[R]. 2017.
- [43] Destefano, T., R. Kneller, J. Timmis. Broadband Infrastructure, ICT Use and Firm Performance: Evidence for UK Firms[J]. Journal of Economic Behavior and Organization, 2018, 155: 110-139.
- [44] Fukuyama, H., W. L. Weber. A Directional Slacks-Based Measure of Technical Inefficiency[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2009, 43(4): 274-287.
- [45] Goldfarb, A., C. Tucker. Digital Economics[J]. Journal of Economic Literature, 2019, 57(1): 3-43.
- [46] Lu, W. C. The Impacts of Information and Communication Technology, Energy Consumption, Financial Development, and Economic Growth on Carbon Dioxide Emissions in 12 Asian Countries[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2018, 23(8): 1351-1365.
- [47] Oh, D. A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index[J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3): 183-197.
- [48] Tone, K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.

[49] Wei, C., N. L. Jin, M. H. Sheng. China's Energy Inefficiency: A Cross-country Comparison[J]. *The Social Science Journal*, 2011, 48(3): 478–488.

[50] Zhang, W., X. Liu, D. Wang, J. Zhou. Digital Economy and Carbon Emission Performance: Evidence at China's City Level[J]. *Energy Policy*, 2022, 165: 112927.

[51] Zhou, X., D. Zhou, Z. Zhao, Q. Wang. A Framework to Analyze Carbon Impacts of Digital Economy: The Case of China[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 31: 357–369.

Has the Digital Economy Promoted the Green Total Factor Productivity of Manufacturing?

Zhu Chengliang^a, Yang Man^b, Li Boxin^c

(a: Institute of Quantitative and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences; b: University of Chinese Academy of Social Sciences; c: Economics School, Xi'an University of Finance and Economics)

Abstract: Promoting the deep integration of the digital economy and substantial economy is a major strategic choice for Chinese path to modernization. Based on provincial panel data from 2012 to 2020, this paper uses entropy method to measure the development level of the digital economy, and uses GML productivity index to measure the green TFP of manufacturing industry. It analyzes the impact of digital economy on the green TFP of the manufacturing industry. The paper finds that the digital economy can significantly promote the improvement of green TFP of the manufacturing industry. The conclusion is robust, that is the higher the level of digital economy development, the greater its role in promoting the green TFP of the manufacturing industry. The impact of the digital economy on the green TFP of the manufacturing industry has a lag effect, and as the lag period increases, the promoting effect of the digital economy becomes greater. The impact of the digital economy on the green TFP of the manufacturing industry exhibits regional heterogeneity. The digital economy can significantly improve the green TFP of the manufacturing industry in the eastern, central, and southern regions, but it has a restraining effect on the western region and has no significant impact on the northern region. The digital economy enhances the green TFP of the manufacturing industry through channels such as promoting technological innovation, improving marketization level, promoting industrial structure upgrading, and improving the level of digital human capital. The paper suggests accelerating the digital transformation and upgrading of the manufacturing industry by accelerating the empowerment of digital technology, emphasizing the digital technology gap, and cultivating digital transformation talents.

Keywords: Digital Economy; Manufacturing Industry; Green TFP; Human Capital

JEL Classification: O18, Q51, Q56

(责任编辑:朱静静)